Corrigé complet — Bac S 2010 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme)

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**réaction d'oxydoréduction avec le couple Zn2+(aq)/Zn(s)** Quotient de réaction et critère d'évolution · Pile électrochimique · Tableau d'avancement · Quantité d'électricité · Électrolyse · Transformation spontanée ou forcée	6,5 pts	1 h 18	19 questions	p. 2
Ex 2	**La radioactivité naturelle et provoquée de l'uranium** Isotopes et composition du noyau · Lois de conservation et radioactivités α et β^- · Demi-vie et loi de décroissance · Activité d'un échantillon · Fission nucléaire · Équivalence masse-énergie	5,5 pts	1 h 05	22 questions	p. 8
Ex 3	**L'atome d'hydrogène** Force électrostatique · Deuxième loi de Newton · Mouvement circulaire uniforme · Énergie cinétique · Niveaux d'énergie quantifiés · Photon et longueur d'onde	4 pts	52 min	15 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Autour de l'oreille** Hauteur et timbre d'un son · Période et fréquence · Analyse spectrale et harmoniques · Intensité et niveau sonores · Sensibilité de l'oreille	4 pts	52 min	11 questions	p. 18

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

réaction d'oxydoréduction avec le couple Zn2+(aq)/Zn(s)

Bac S 2010 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Donner l'expression du quotient de réaction Q_r associé à l'équation (1).

Données utiles $\mathrm{Cu^{2+}(aq) + Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + Cu(s)}$

Les solides $\mathrm{Zn(s)}$ et $\mathrm{Cu(s)}$ n'interviennent pas dans le quotient de réaction ; seules les espèces dissoutes y figurent.

$$Q_r = \frac{[\mathrm{Zn^{2+}}]}{[\mathrm{Cu^{2+}}]}$$

PIÈGE
Faire apparaître « $[\mathrm{Zn}]$ » ou « $[\mathrm{Cu}]$ » : un solide n'a pas de concentration, il compte pour 1 dans le quotient.

1.2 Calculer la valeur du quotient de réaction à l'état initial.

Données utiles $V_1 = 20$ mL ; $C_1 = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} ; $V_2 = 10$ mL ; $C_2 = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1}

Dans le mélange de volume $V_1 + V_2$, chaque ion est dilué :

$$[\mathrm{Cu^{2+}}]_i = \frac{C_1 V_1}{V_1 + V_2} \text{ et } [\mathrm{Zn^{2+}}]_i = \frac{C_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

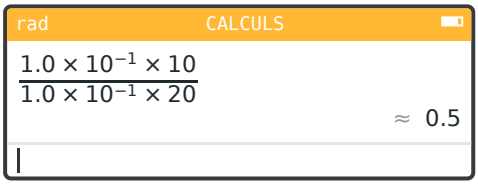
$$Q_{r,i} = \frac{[\mathrm{Zn^{2+}}]_i}{[\mathrm{Cu^{2+}}]_i} = \frac{C_2 V_2}{C_1 V_1} = \frac{1{,}0 \times 10^{-1} \times 10}{1{,}0 \times 10^{-1} \times 20}$$

$$Q_{r,i} = 0{,}50$$

PIÈGE
Utiliser directement C_1 et C_2 donnerait $Q_{r,i} = 1$: les concentrations à prendre sont celles du mélange, après dilution.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs, le résultat aussi : $0{,}50$. Le volume total se simplifie, les volumes peuvent donc rester en mL. Q_r est sans unité.

À LA CALCULATRICE



1.3 Appliquer le critère d'évolution spontanée, donner le sens d'évolution du système et montrer qu'il est cohérent avec les observations.

Données utiles $K = 2 \times 10^{37}$; $Q_{r,i} = 0{,}50$ (1.2)

$Q_{r,i} = 0{,}50 < K = 2 \times 10^{37}$: le système évolue spontanément dans le sens direct de l'équation (1). Des ions $\mathrm{Cu^{2+}}$ et du zinc sont consommés, des ions $\mathrm{Zn^{2+}}$ et du cuivre métallique se forment.

Cohérence avec les observations :

- la solution bleue se décolore : les ions $\mathrm{Cu^{2+}}$, responsables de la couleur, disparaissent ;
- le dépôt rougeâtre sur la lame de zinc est le cuivre formé, là où $\mathrm{Cu^{2+}}$ rencontre Zn.

$Q_{r,i} < K$: évolution dans le sens direct, en accord avec les observations.

COMPRENDRE
K est très supérieure à 10^4 : la transformation est quasi totale, ce qui explique une solution finale presque incolore.

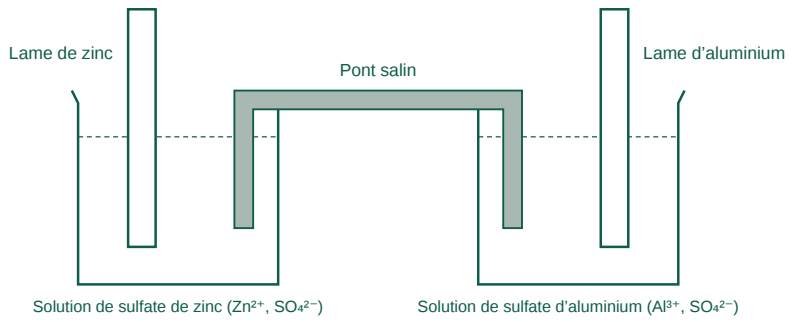
MÉTHODE
Comparer $Q_{r,i}$ à K : si $Q_{r,i} < K$, sens direct ; si $Q_{r,i} > K$, sens inverse ; si $Q_{r,i} = K$, équilibre, pas d'évolution.

2.1.1 Réaliser le schéma annoté de la pile zinc – aluminium.

Chaque demi-pile associe un métal et une solution contenant son cation : lame de zinc dans la solution de sulfate de zinc, lame d'aluminium dans la solution de sulfate d'aluminium. Le pont salin relie les deux solutions.

Schéma ci-dessous : deux demi-piles reliées par le pont salin.

PIÈGE
Oublier le pont salin, ou plonger chaque lame dans la solution de l'autre métal : la pile ne pourrait pas fonctionner.



2.1.1 · Pile zinc – aluminium

2.1.2 On branche un conducteur ohmique aux bornes de la pile : compléter le schéma.

Le conducteur ohmique de résistance R est relié par deux fils de connexion à la lame de zinc et à la lame d'aluminium : le circuit extérieur est ainsi fermé.

Conducteur ohmique branché entre les deux lames (schéma de la question 2.2.3).

COMPRENDRE
Le circuit est fermé par le pont salin, dont les ions assurent le passage du courant entre les deux solutions.

2.2.1 Écrire l'équation de la réaction électronique à l'électrode de zinc et celle à l'électrode d'aluminium.

Données utiles $3\,Zn^{2+}(aq) + 2\,Al(s) = 2\,Al^{3+}(aq) + 3\,Zn(s)$

D'après l'équation de fonctionnement, Zn^{2+} est consommé et Al aussi.

À l'électrode de zinc (réduction) : $Zn^{2+}(aq) + 2\,e^- = Zn(s)$

À l'électrode d'aluminium (oxydation) : $Al(s) = Al^{3+}(aq) + 3\,e^-$

$Zn^{2+}(aq) + 2\,e^- = Zn(s)$ et $Al(s) = Al^{3+}(aq) + 3\,e^-$

MÉTHODE
Vérification : 3 fois la première demi-équation plus 2 fois la seconde redonne l'équation de la pile, avec 6 électrons échangés.

2.2.2 En déduire, en justifiant, le sens de circulation des électrons dans le circuit extérieur.

L'oxydation de l'aluminium libère des électrons à l'électrode d'aluminium ; la réduction des ions Zn^{2+} en consomme à l'électrode de zinc.

Dans le circuit extérieur, les électrons vont de la lame d'aluminium vers la lame de zinc.

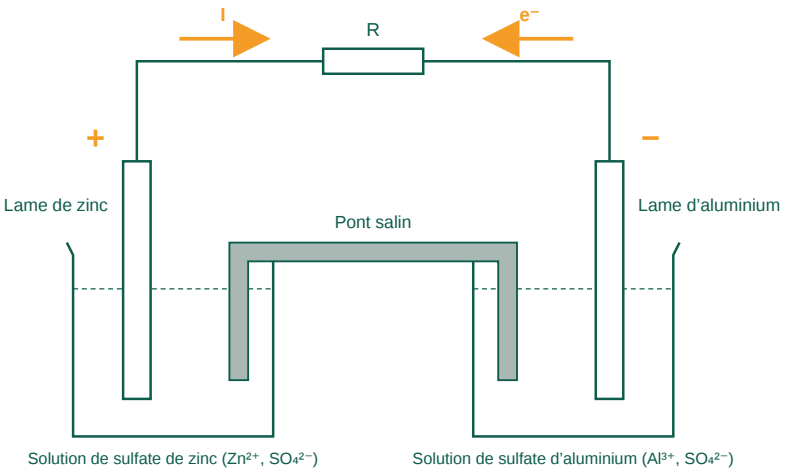
PIÈGE
Les électrons ne circulent que dans les fils et les lames, jamais dans les solutions ni dans le pont salin, où ce sont les ions qui se déplacent.

2.2.3 Indiquer sur le schéma le sens de circulation des électrons, le sens du courant et la polarité de la pile.

- Électrons : de l'aluminium vers le zinc (2.2.2).
- Courant : sens opposé à celui des électrons, donc du zinc vers l'aluminium dans le circuit extérieur.
- Polarité : à l'extérieur de la pile, le courant sort par la borne positive. La lame de zinc est la borne $+$, la lame d'aluminium la borne $-$.

Zinc : borne $+$; aluminium : borne $-$; courant du zinc vers l'aluminium dans le circuit.

COMPRENDRE
L'électrode d'aluminium, siège de l'oxydation, est l'anode ; dans une pile, l'anode est la borne négative.



2.2.3 · Pile branchée sur le conducteur ohmique : électrons, courant et polarité (en orange)

2.3.1 Déterminer les quantités de matière initiales d'ions Zn^{2+} et d'aluminium solide.

Données utiles $[Zn^{2+}] = 3{,}0 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 100\ \text{mL}$; $m_2 = 3{,}0\ \text{g}$; $M_{Al} = 27{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

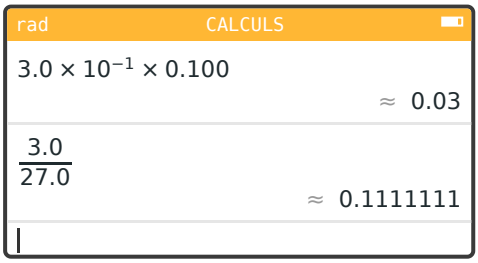
$$n(Zn^{2+})_i = [Zn^{2+}] \times V = 3{,}0 \times 10^{-1} \times 0{,}100 = 3{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

$$n(Al)_i = \frac{m_2}{M_{Al}} = \frac{3{,}0}{27{,}0} = 0{,}11\ \text{mol}$$

$n(Zn^{2+})_i = 3{,}0 \times 10^{-2}$ mol et $n(Al)_i = 0{,}11$ mol

PIÈGE
Laisser le volume en mL : $100\ \text{mL} = 0{,}100$ L.

À LA CALCULATRICE



2.3.2 Compléter le tableau descriptif de l'évolution du système ; en déduire le réactif limitant et l'avancement maximal x_{max}.

Données utiles $n(\mathrm{Zn^{2+}})_i = 3{,}0 \times 10^{-2}$ mol et $n(\mathrm{Al})_i = 0{,}11$ mol (2.3.1)

Réactifs :

État du système	Avancement	$3\,\mathrm{Zn^{2+}(aq)}$	$2\,\mathrm{Al(s)}$
initial	0	$3{,}0 \times 10^{-2}$	$0{,}11$
en cours	x	$3{,}0 \times 10^{-2} - 3x$	$0{,}11 - 2x$
maximal	x_{max}	$3{,}0 \times 10^{-2} - 3x_{max}$	$0{,}11 - 2x_{max}$

Produits et électrons échangés :

État du système	$2\,\mathrm{Al^{3+}(aq)}$	$3\,\mathrm{Zn(s)}$	$n(\mathrm{e^-})$
initial	$1{,}0 \times 10^{-2}$	$4{,}6 \times 10^{-2}$	0
en cours	$1{,}0 \times 10^{-2} + 2x$	$4{,}6 \times 10^{-2} + 3x$	$6x$
maximal	$1{,}0 \times 10^{-2} + 2x_{max}$	$4{,}6 \times 10^{-2} + 3x_{max}$	$6x_{max}$

(quantités en mol ; le tableau de l'annexe est présenté ici en deux parties)

Si $\mathrm{Zn^{2+}}$ est limitant : $3{,}0 \times 10^{-2} - 3x_{max} = 0$, soit $x_{max} = \dfrac{3{,}0 \times 10^{-2}}{3} = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol.

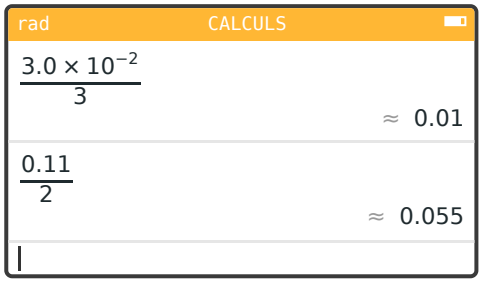
Si Al est limitant : $0{,}11 - 2x_{max} = 0$, soit $x_{max} = \dfrac{0{,}11}{2} = 5{,}5 \times 10^{-2}$ mol.

La plus petite valeur est la bonne.

Réactif limitant : $\mathrm{Zn^{2+}}$; $x_{max} = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol

PIÈGE
Comparer directement $3{,}0 \times 10^{-2}$ et $0{,}11$ mol sans diviser par les nombres stœchiométriques 3 et 2 : ici la conclusion serait la même, mais le raisonnement est faux.

À LA CALCULATRICE



2.3.3 Calculer la quantité maximale d'électricité Q_{max} que peut débiter la pile, en justifiant avec la dernière colonne du tableau.

Données utiles $x_{max} = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol (2.3.2) ; $1\ \mathrm{F} = 9{,}65 \times 10^4\ \mathrm{C \cdot mol^{-1}}$

Quand l'équation de la pile se produit une fois, 2 atomes d'aluminium cèdent $2 \times 3 = 6$ électrons : pour un avancement x, la quantité d'électrons échangée est $n(\mathrm{e^-}) = 6x$ (dernière colonne).

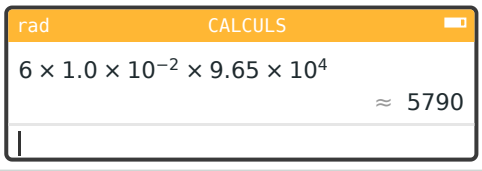
À l'état maximal, $n(\mathrm{e^-})_{max} = 6\,x_{max}$. Une mole d'électrons porte la charge F, donc :

$$Q_{max} = n(\mathrm{e^-})_{max} \times F = 6\,x_{max}\,F = 6 \times 1{,}0 \times 10^{-2} \times 9{,}65 \times 10^4$$

$Q_{max} = 5{,}8 \times 10^3\ \mathrm{C}$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme x_{max}. La pile s'arrête quand les ions $\mathrm{Zn^{2+}}$ sont épuisés, bien avant la disparition de la lame d'aluminium.

À LA CALCULATRICE



3.1.1 Quel est le produit formé au niveau de l'électrode B ?

Du côté de B, la solution devient orange : c'est la couleur du diiode en solution aqueuse, formé à partir des ions iodure.

Le produit formé à l'électrode B est le diiode $\mathrm{I_2\,(aq)}$.

3.1.2 Écrire la demi-équation électronique correspondante.

Couple $\mathrm{I_2\,(aq)}$ / $\mathrm{I^-\,(aq)}$; les ions iodure sont oxydés :

$\mathrm{2\,I^-\,(aq) = I_2\,(aq) + 2\,e^-}$

3.2 Écrire l'équation de la réaction électronique modélisant la transformation sur l'électrode A.

Un dépôt de zinc métallique se forme sur A : les ions zinc sont réduits.

$$\mathrm{Zn^{2+}\,(aq) + 2\,e^- = Zn\,(s)}$$

3.3 Identifier, en justifiant, l'anode et la cathode parmi les électrodes A et B.

L'anode est l'électrode où se produit une oxydation : en B, $\mathrm{I^-}$ est oxydé en $\mathrm{I_2}$.

La cathode est l'électrode où se produit une réduction : en A, $\mathrm{Zn^{2+}}$ est réduit en Zn.

B est l'anode, A est la cathode.

COMPRENDRE
Cohérent avec le montage : B est reliée à la borne $+$ du générateur, qui lui arrache des électrons ; A, reliée à la borne $-$, en reçoit.

MÉTHODE
Anode : oxydation ; cathode : réduction. Ces définitions valent pour une pile comme pour un électrolyseur ; seuls les signes des bornes changent.

3.4.1 Calculer la quantité de matière d'électrons n_{e^-} qui a circulé pendant l'électrolyse.

Données utiles $m_{\mathrm{Zn}} = 1{,}50$ g ; $M_{\mathrm{Zn}} = 65{,}4\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$

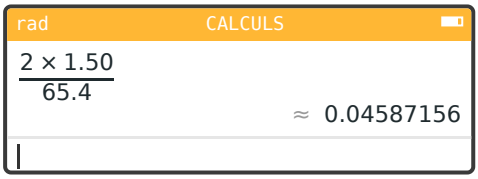
D'après $\mathrm{Zn^{2+}\,(aq) + 2\,e^- = Zn\,(s)}$, il faut 2 moles d'électrons pour déposer 1 mole de zinc :

$$n_{e^-} = 2\,n(\mathrm{Zn}) = \frac{2\,m_{\mathrm{Zn}}}{M_{\mathrm{Zn}}} = \frac{2\times 1{,}50}{65{,}4}$$

$$n_{e^-} = 4{,}59\times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$$

PIÈGE
Oublier le facteur 2, ou diviser par 2 au lieu de multiplier : chaque ion $\mathrm{Zn^{2+}}$ capte deux électrons.

À LA CALCULATRICE



3.4.2 En déduire la quantité d'électricité Q mise en jeu pendant l'électrolyse.

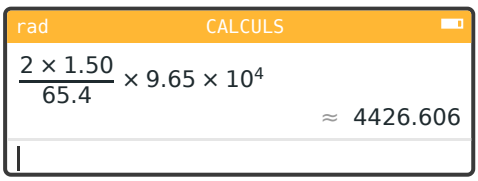
Données utiles $n_{e^-} = 4{,}59\times 10^{-2}$ mol (3.4.1) ; $1\ \mathrm{F} = 9{,}65\times 10^{4}\ \mathrm{C\cdot mol^{-1}}$

$$Q = n_{e^-}\times F = 4{,}59\times 10^{-2}\times 9{,}65\times 10^{4}$$

$$Q = 4{,}43\times 10^{3}\ \mathrm{C}$$

COMPRENDRE
Le faraday est la charge d'une mole d'électrons : $F = N_A\times e$. Calculer $Q = n_{e^-}\,N_A\,e$ donne la même valeur, à l'arrondi des données près ($4{,}42\times 10^{3}$ C).

À LA CALCULATRICE



3.4.3 Déterminer la durée Δt de l'électrolyse.

Données utiles $I = 500\ \text{mA} = 0{,}500\ \text{A}$; $Q = 4{,}43 \times 10^3$ C (3.4.2)

L'intensité est constante : $Q = I \times \Delta t$, donc

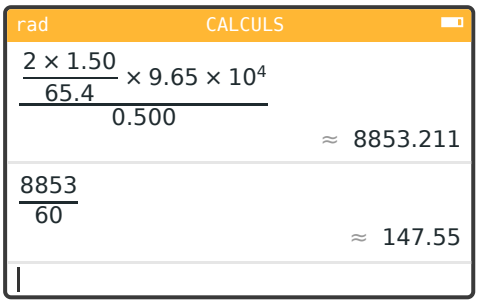
$$\Delta t = \frac{Q}{I} = \frac{4{,}43 \times 10^3}{0{,}500}$$

$\Delta t = 8{,}85 \times 10^3$ s, soit environ 2 h 28 min.

PIÈGE
Laisser l'intensité en mA : $500\ \text{mA} = 0{,}500$ A, sinon la durée est mille fois trop petite.

COMPRENDRE
Le calcul est mené avec la valeur non arrondie de Q gardée dans la calculatrice. Avec Q arrondie à $4{,}43 \times 10^3$ C, on lirait $8{,}86 \times 10^3$ s : les deux sont acceptés.

À LA CALCULATRICE



4 Pour chacune des trois expériences, indiquer par des croix si la transformation est spontanée ou forcée, et si elle nécessite ou libère de l'énergie.

	spontanée	forcée	nécessite de l'énergie	libère de l'énergie
Expérience 1	×			×
Expérience 2	×			×
Expérience 3		×	×	

- Expérience 1 : évolution spontanée ($Q_{r,i} < K$) ; la température augmente, de l'énergie est libérée sous forme thermique.
- Expérience 2 : la pile débite spontanément et fournit de l'énergie électrique au circuit.
- Expérience 3 : l'électrolyse n'a lieu que si le générateur impose le courant et apporte l'énergie.

Expériences 1 et 2 : spontanées, libèrent de l'énergie ; expérience 3 : forcée, nécessite de l'énergie.

COMPRENDRE
Une électrolyse force le système à évoluer dans le sens inverse de son sens spontané : livrés à eux-mêmes, le zinc et le diiode réagiraient pour redonner Zn^{2+} et I^-.

La radioactivité naturelle et provoquée de l'uranium

Bac S 2010 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Qu'appelle-t-on noyau radioactif ?

Un noyau radioactif est un noyau **instable** : il se désintègre spontanément en un autre noyau, en émettant une particule (et souvent un rayonnement γ).

COMPRENDRE
La désintégration est spontanée et aléatoire : on ne peut pas prévoir l'instant où un noyau donné se désintègre, seulement le comportement moyen d'un grand nombre de noyaux.

1.2.1 Rappeler la définition de noyaux isotopes.

Des noyaux isotopes ont le **même nombre de protons** Z (même élément chimique) mais des **nombres de neutrons différents**, donc des nombres de nucléons A différents.

1.2.2 Comparer la composition des noyaux des atomes d'uranium 235 et 238.

Données utiles uranium : $Z = 92$

Les deux noyaux contiennent $Z = 92$ protons. Le nombre de neutrons est $N = A - Z$.

Uranium 235 : $235 - 92 = 143$ neutrons. Uranium 238 : $238 - 92 = 146$ neutrons.

Même nombre de protons (92) ; l'uranium 238 possède 3 neutrons de plus (146 contre 143).

PIÈGE
« Comparer » demande de dire ce qui est commun et ce qui diffère, avec les nombres. Donner seulement 235 et 238 nucléons ne répond pas à la question.

1.3.1 Rappeler les lois de conservation, dites lois de Soddy, intervenant lors des désintégrations successives.

Lors d'une transformation nucléaire, il y a **conservation du nombre de nucléons** (somme des A) et **conservation de la charge électrique** (somme des Z).

COMPRENDRE
Le nombre de protons, lui, n'est pas forcément conservé : c'est pour cela que l'élément chimique change au cours d'une désintégration.

1.3.2 Écrire l'équation de la désintégration du noyau d'uranium 238 en thorium 234.

On écrit ${}^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$.

Conservation des nucléons : $238 = 234 + A$, donc $A = 4$.
Conservation de la charge : $92 = 90 + Z$, donc $Z = 2$: la particule est un noyau d'hélium.

$${}^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

MÉTHODE
Poser une particule inconnue ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$, appliquer les deux lois de conservation, puis l'identifier : ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$, ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$ ou ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$.

1.3.3 Quel est le type de radioactivité correspondant à cette désintégration ?

Le noyau émis est un noyau d'hélium 4, appelé particule α.

Il s'agit d'une radioactivité α.

1.3.4 Le thorium 234 se désintègre en protactinium 234. Écrire l'équation de cette désintégration. Quelle particule est émise ?

Conservation des nucléons : $234 = 234 + A$, donc $A = 0$.
Conservation de la charge : $90 = 91 + Z$, donc $Z = -1$.

$$^{234}_{90}\text{Th} \longrightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + {}^{0}_{-1}\text{e}$$

La particule émise est un **électron** : c'est une radioactivité β^-.

PIÈGE
Écrire un positon ${}^{0}_{1}\text{e}$. Ici Z augmente d'une unité (de 90 à 91) : la charge émise doit être -1.

1.4.1 Rappeler la définition du temps de demi-vie $t_{1/2}$.

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la **moitié des noyaux radioactifs** initialement présents dans l'échantillon s'est désintégrée : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$.

1.4.2 À partir de la loi de décroissance $N(t) = N_0\,\text{e}^{-\lambda t}$, retrouver la relation $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$.

Par définition, $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$, donc $N_0\,\text{e}^{-\lambda t_{1/2}} = \dfrac{N_0}{2}$, soit $\text{e}^{-\lambda t_{1/2}} = \dfrac{1}{2}$.

On prend le logarithme népérien : $-\lambda\, t_{1/2} = \ln\dfrac{1}{2} = -\ln 2$.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

MÉTHODE
Pour faire sortir une inconnue d'un exposant : isoler l'exponentielle, puis appliquer $\ln$ aux deux membres, avec $\ln(\text{e}^x) = x$ et $\ln(1/2) = -\ln 2$.

1.4.3 En déduire la valeur de la constante radioactive λ en an^{-1}, puis en s^{-1}.

Données utiles $t_{1/2} = 4{,}5 \times 10^9$ ans

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{4{,}5 \times 10^9} = 1{,}5 \times 10^{-10}\ \text{an}^{-1}$$

En secondes : $t_{1/2} = 4{,}5 \times 10^9 \times 365{,}25 \times 24 \times 3600 = 1{,}4 \times 10^{17}$ s, donc

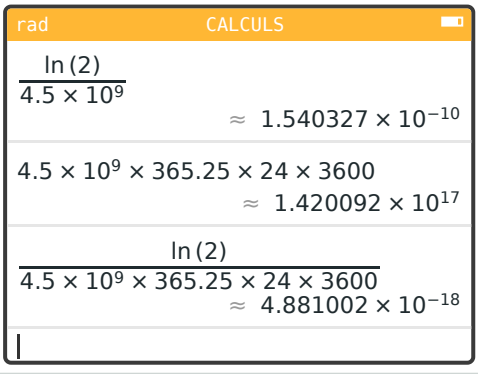
$$\lambda = \frac{\ln 2}{4{,}5 \times 10^9 \times 365{,}25 \times 24 \times 3600} = 4{,}9 \times 10^{-18}\ \text{s}^{-1}$$

$$\lambda = 1{,}5 \times 10^{-10}\ \text{an}^{-1} = 4{,}9 \times 10^{-18}\ \text{s}^{-1}$$

PIÈGE
λ est l'inverse d'une durée : pour passer des an^{-1} aux s^{-1}, on **divise** par le nombre de secondes dans une année, on ne multiplie pas.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée $t_{1/2} = 4{,}5 \times 10^9$ ans.

À LA CALCULATRICE



1.5.1 Rappeler la définition de l'activité d'une espèce radioactive.

L'activité A d'un échantillon radioactif est le **nombre moyen de désintégrations par seconde** qui s'y produisent. Elle s'exprime en becquerels (Bq).

1.5.2 Que représente un becquerel (Bq) ?

Un becquerel correspond à **une désintégration par seconde**.

1.5.3 Avec $A(t) = \lambda N(t)$, calculer le nombre N_0 de noyaux d'uranium présents dans la pierre à $t = 0$ s et montrer que son ordre de grandeur est 10^{21}.

Données utiles $A_0 = 9000$ Bq ; $\lambda = 4{,}9 \times 10^{-18}$ s^{-1} (1.4.3)

À $t = 0$: $A_0 = \lambda N_0$, donc $N_0 = \dfrac{A_0}{\lambda}$.

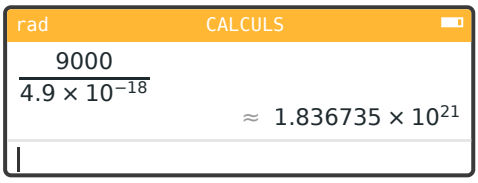
$$N_0 = \frac{9000}{4{,}9 \times 10^{-18}} = 1{,}8 \times 10^{21} \text{ noyaux}$$

$N_0 = 1{,}8 \times 10^{21}$ noyaux : l'ordre de grandeur est bien 10^{21}.

PIÈGE
L'activité est en Bq, donc en désintégrations par seconde : il faut λ en s^{-1}. Avec la valeur en an^{-1}, on trouverait 6×10^{13}, faux.

COMPRENDRE
L'ordre de grandeur est la puissance de dix la plus proche : $1{,}8$ est inférieur à 5, donc on retient 10^{21}.

À LA CALCULATRICE



1.5.4 L'activité suit la loi $A(t) = A_0\,e^{-\lambda t}$ avec $A_0 = 9000$ Bq. Que vaut l'activité de la pierre au bout de 10 ans ? Au bout de 1000 ans ?

Données utiles $\lambda = 1{,}5 \times 10^{-10}$ an^{-1} (1.4.3)

Les durées sont en années : on utilise λ en an^{-1}.

$A(10 \text{ ans}) = 9000 \times e^{-1{,}5\times10^{-10}\times10} = 9{,}0 \times 10^3$ Bq

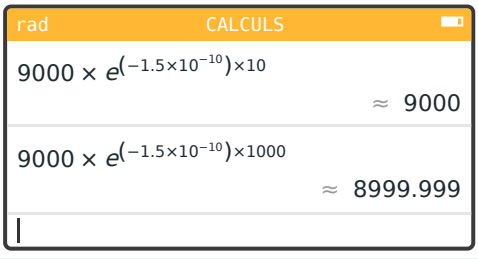
$A(1000 \text{ ans}) = 9000 \times e^{-1{,}5\times10^{-10}\times1000} = 9{,}0 \times 10^3$ Bq

$A(10 \text{ ans}) \approx A(1000 \text{ ans}) \approx 9{,}0 \times 10^3$ Bq : l'activité n'a pratiquement pas changé.

PIÈGE
Dans l'exposant, λ et t doivent être dans des unités cohérentes : an^{-1} avec des années, ou s^{-1} avec des secondes.

COMPRENDRE
En 1000 ans, l'activité baisse d'environ $0{,}001$ Bq sur 9000 : c'est très inférieur à la précision de la donnée.

À LA CALCULATRICE



1.5.5 Que peut-on en déduire à propos de la décroissance de l'activité de cette pierre ?

La décroissance est **extrêmement lente** : à l'échelle humaine, l'activité de la pierre peut être considérée comme constante.

COMPRENDRE
1000 ans est négligeable devant la demi-vie de l'uranium 238 ($4{,}5 \times 10^9$ ans) : il faudrait attendre $4{,}5$ milliards d'années pour que l'activité soit divisée par deux.

1.5.6 Quels effets biologiques peut avoir l'inhalation prolongée de poussières issues d'une telle pierre ?

Les poussières inhalées se fixent dans les poumons et irradient les tissus de l'intérieur ; les rayonnements émis sont ionisants et endommagent les cellules et leur ADN.

Risque de mutations et de **cancers** (du poumon en particulier), ou de leucémies.

2.1 Comment appelle-t-on ce type de réaction ?

Sous l'impact d'un neutron, un noyau lourd se scinde en deux noyaux plus légers.

C'est une réaction de **fission** nucléaire.

COMPRENDRE
La fission est une réaction provoquée (il faut un neutron incident), contrairement à la radioactivité, qui est spontanée. Les 3 neutrons libérés peuvent provoquer d'autres fissions : c'est la réaction en chaîne.

2.2 Déterminer la valeur de A et de Z dans l'équation ${}^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{94}_{Z}\mathrm{Sr} + {}^{A}_{54}\mathrm{Xe} + 3\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$.

Conservation du nombre de nucléons : $235 + 1 = 94 + A + 3 \times 1$, donc $A = 236 - 97 = 139$.

Conservation de la charge : $92 + 0 = Z + 54 + 3 \times 0$, donc $Z = 92 - 54 = 38$.

$A = 139$ et $Z = 38$

PIÈGE
Oublier le coefficient 3 devant le neutron dans le bilan des nucléons : on trouverait $A = 141$.

2.3.1 Énoncer la relation d'équivalence masse-énergie.

Toute particule de masse m, au repos, possède une énergie de masse E :

$E = m\,c^2$, avec E en joules, m en kilogrammes et c la célérité de la lumière dans le vide en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

2.3.2 Exprimer, en fonction des masses des particules et des noyaux de l'équation, la variation d'énergie de masse ΔE au cours de la réaction.

$\Delta E = (m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}})\,c^2 =$
$[m(\mathrm{Sr}) + m(\mathrm{Xe}) + 3\,m(\mathrm{n}) - m(\mathrm{U}) - m(\mathrm{n})]\,c^2$

$\Delta E = [m(\mathrm{Sr}) + m(\mathrm{Xe}) + 2\,m(\mathrm{n}) - m(\mathrm{U})]\,c^2$

PIÈGE
Une variation se calcule toujours « final moins initial ». L'ordre inverse donne le mauvais signe et fausse la conclusion de la question 2.4.

2.3.3 À l'aide des données, calculer la valeur de ΔE en J, puis en MeV.

Données utiles $m(\mathrm{U}) = 235{,}120$ u ; $m(\mathrm{Sr}) = 93{,}8946$ u ; $m(\mathrm{Xe}) = 138{,}888$ u ; $m(\mathrm{n}) = 1{,}00866$ u ; $1\ \mathrm{u} = 1{,}660\,54 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$; $1\ \mathrm{MeV} = 1{,}60 \times 10^{-13}$ J

Variation de masse, en unité de masse atomique :

$$\Delta m = 93{,}8946 + 138{,}888 + 2 \times 1{,}00866 - 235{,}120 = -0{,}32008\ \mathrm{u}$$

Énergie, avec Δm convertie en kg : $\Delta E = \Delta m\,c^2$

$$\Delta E = -0{,}32008 \times 1{,}660\,54 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^{8})^2$$

$$\Delta E = -4{,}78 \times 10^{-11}\ \mathrm{J}$$

Comme $1\ \mathrm{MeV} = 1{,}00 \times 10^{6} \times 1{,}60 \times 10^{-19} = 1{,}60 \times 10^{-13}$ J :

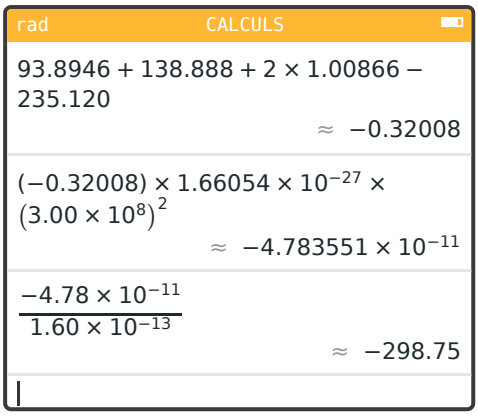
$$\Delta E = \frac{-4{,}78 \times 10^{-11}}{1{,}60 \times 10^{-13}} = -299\ \mathrm{MeV}$$

$\Delta E = -4{,}78 \times 10^{-11}\ \mathrm{J} = -299\ \mathrm{MeV}$

PIÈGE
Les masses sont en u : il faut les convertir en kilogrammes avant de multiplier par c^2, sinon le résultat n'est pas en joules.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c. Par $\Delta m \times 931{,}5\ \mathrm{MeV}$ par u, on trouve -298 MeV : le petit écart vient des valeurs arrondies de c et de l'électronvolt.

À LA CALCULATRICE



2.4 De l'énergie est-elle libérée au cours de cette réaction ? Justifier.

Données utiles $\Delta E = -299$ MeV (2.3.3)

$\Delta E < 0$: la masse des produits est inférieure à celle des réactifs, l'énergie de masse du système diminue. Cette énergie perdue par le système est cédée au milieu extérieur.

Oui : la réaction **libère** une énergie $|\Delta E| = 299$ MeV par noyau d'uranium 235 fissionné.

COMPRENDRE
L'énergie libérée se retrouve sous forme d'énergie cinétique des noyaux formés et des neutrons, et de rayonnement ; elle est finalement convertie en chaleur dans un réacteur.

L'atome d'hydrogène

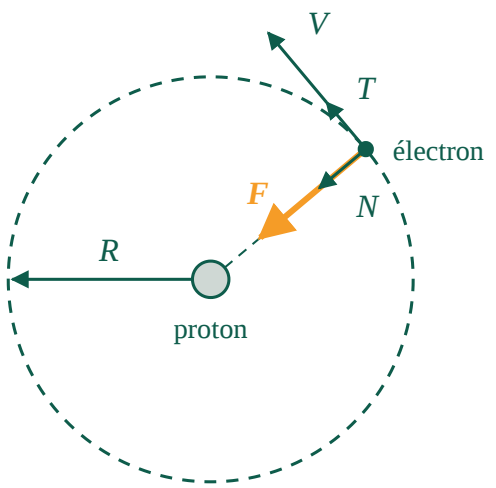
Bac S 2010 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Représenter sur le schéma de l'annexe la force d'interaction électrostatique $\vec{F}$ subie par l'électron.

$\vec{F} = k\,\frac{e^2}{R^2}\,\vec{N}$ avec $k\,\frac{e^2}{R^2} > 0$: la force a la direction et le sens de $\vec{N}$.

$\vec{F}$ est tracée à partir de l'électron, le long du rayon, et pointe vers le proton (force centripète).

PIÈGE
Faire partir la flèche du proton. La force s'exerce sur l'électron : son point d'application est l'électron.



1.1 · Annexe complétée : la force est portée par N, dirigée de l'électron vers le proton

1.2 Déterminer l'unité de la constante k, sachant que la charge e s'exprime en coulomb.

En valeur : $F = k\,\frac{e^2}{R^2}$, donc $k = \frac{F\,R^2}{e^2}$.

F est en newton (N), R en mètre (m) et e en coulomb (C).

k s'exprime en $\mathrm{N \cdot m^2 \cdot C^{-2}}$.

MÉTHODE
Pour l'unité d'une constante : l'isoler dans la relation, puis remplacer chaque grandeur par son unité.

1.3 Pour un mouvement circulaire uniforme, écrire le vecteur accélération $\vec{a}$ dans la base $(\vec{T}, \vec{N})$ en fonction de V et de R.

Dans la base mobile : $\vec{a} = \frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t}\,\vec{T} + \frac{V^2}{R}\,\vec{N}$. Le mouvement est uniforme, donc $\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = 0$.

$\vec{a} = \frac{V^2}{R}\,\vec{N}$

COMPRENDRE
La valeur de la vitesse est constante, mais sa direction change sans cesse : l'accélération n'est pas nulle, elle est dirigée vers le centre.

1.4 En appliquant une loi dont on donnera le nom, montrer que $V = e\sqrt{\dfrac{k}{mR}}$.

Système : l'électron, de masse m. Référentiel : lié au proton, supposé galiléen. Seule force prise en compte : $\vec{F}$ (le poids de l'électron est négligeable devant elle).

Deuxième loi de Newton : $\vec{F} = m\,\vec{a}$, soit $k\,\dfrac{e^2}{R^2}\,\vec{N} = m\,\dfrac{V^2}{R}\,\vec{N}$.

Selon $\vec{N}$: $k\,\dfrac{e^2}{R^2} = m\,\dfrac{V^2}{R}$, donc $V^2 = \dfrac{k\,e^2}{m\,R}$.

$V = e\sqrt{\dfrac{k}{mR}}$ (une valeur de vitesse est positive) : c'est l'expression attendue.

PIÈGE
Oublier de nommer la loi, le système ou le référentiel : la question demande explicitement le nom de la loi.

COMPRENDRE
Le poids vaut $mg \approx 9 \times 10^{-30}$ N, la force électrique $k\,e^2/R^2 \approx 8 \times 10^{-8}$ N : le poids est totalement négligeable.

1.5 Calculer la valeur de la vitesse V de l'électron.

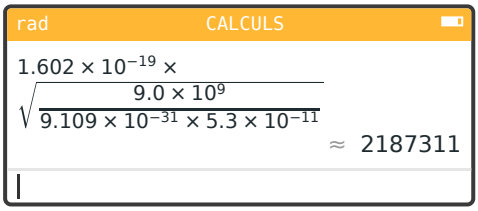
Données utiles $m = 9{,}109 \times 10^{-31}$ kg ; $e = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C ; $R = 5{,}3 \times 10^{-11}$ m ; $k = 9{,}0 \times 10^{9}$ SI

$$V = e\sqrt{\frac{k}{mR}} = 1{,}602 \times 10^{-19} \times \sqrt{\frac{9{,}0 \times 10^{9}}{9{,}109 \times 10^{-31} \times 5{,}3 \times 10^{-11}}}$$

$V = 2{,}2 \times 10^{6}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les données les moins précises (R et k). La vitesse trouvée reste très inférieure à $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



1.6 À partir de l'expression de V, déterminer l'expression littérale de l'énergie cinétique E_C de l'électron.

$E_C = \dfrac{1}{2}\,m\,V^2$ avec $V^2 = \dfrac{k\,e^2}{m\,R}$, donc $E_C = \dfrac{1}{2}\,m \times \dfrac{k\,e^2}{m\,R}$.

$E_C = \dfrac{k\,e^2}{2R}$

COMPRENDRE
La masse se simplifie : dans ce modèle, l'énergie cinétique ne dépend que du rayon de l'orbite.

1.7 Calculer la valeur de l'énergie cinétique, puis la convertir en électron-volt.

Données utiles $k = 9{,}0 \times 10^{9}$ SI ; $e = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C ; $R = 5{,}3 \times 10^{-11}$ m ; $1\ \text{eV} = 1{,}602 \times 10^{-19}$ J

$$E_C = \frac{k\,e^2}{2R} = \frac{9{,}0 \times 10^{9} \times (1{,}602 \times 10^{-19})^2}{2 \times 5{,}3 \times 10^{-11}} = 2{,}2 \times 10^{-18}\ \text{J}$$

En électron-volt : $E_C = \dfrac{2{,}179 \times 10^{-18}}{1{,}602 \times 10^{-19}} = 13{,}6$, arrondi à deux chiffres significatifs.

$E_C = 2{,}2 \times 10^{-18}\ \text{J} \approx 14\ \text{eV}$

PIÈGE
Convertir à partir de la valeur arrondie $2{,}2 \times 10^{-18}$ J. Il faut garder la valeur non arrondie pour la suite du calcul.

MÉTHODE
De joule en électron-volt, on divise par $1{,}602 \times 10^{-19}$; d'électron-volt en joule, on multiplie.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{9.0 \times 10^{9} \times (1.602 \times 10^{-19})^{2}}{2 \times 5.3 \times 10^{-11}} \approx 2.179022 \times 10^{-18}$$

$$\frac{2.179022264 \times 10^{-18}}{1.602 \times 10^{-19}} \approx 13.60189$$

2.1 Expliquer succinctement ce que signifie l'adjectif « quantifié », en comparant avec l'énergie en mécanique de Newton.

En mécanique de Newton, l'énergie d'un système (un satellite autour d'une planète, par exemple) peut prendre n'importe quelle valeur : elle varie de façon continue.

« Quantifiée » : l'énergie de l'atome ne peut prendre que certaines valeurs bien précises, séparées les unes des autres (valeurs discrètes).

COMPRENDRE
Conséquence : l'atome ne peut échanger que des quantités d'énergie précises, égales à l'écart entre deux niveaux. C'est l'origine des spectres de raies.

2.2 Compléter le tableau de l'annexe : énergie de l'atome et rayon de l'orbite (en multiple de a_0) pour $n = 4$ et $n = 5$.

Données utiles $E_n = \dfrac{-13{,}6}{n^2}$ (en eV) ; $r_n = a_0\, n^2$

$E_4 = \dfrac{-13{,}6}{4^2} = -0{,}850$ eV et $r_4 = 4^2\, a_0 = 16\, a_0$.

$E_5 = \dfrac{-13{,}6}{5^2} = -0{,}544$ eV et $r_5 = 5^2\, a_0 = 25\, a_0$.

$E_4 = -0{,}850$ eV, $r_4 = 16\, a_0$; $E_5 = -0{,}544$ eV, $r_5 = 25\, a_0$

n	1	2	3	4	5
E_n (eV)	−13,6	−3,40	−1,51	**−0,850**	**−0,544**
r_n	ao	4ao	9ao	**16ao**	**25ao**

2.2 · Annexe complétée (valeurs ajoutées en orange)

PIÈGE
Perdre le signe « − » de l'énergie, ou diviser par n au lieu de n^2.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{-13.6}{4^2} \approx -0.85$$

$$\frac{-13.6}{5^2} \approx -0.544$$

2.3 Vers quelles valeurs évoluent l'énergie E_n et le rayon r_n lorsque n devient très grand ?

Quand n devient très grand, n^2 devient très grand : le quotient $\dfrac{-13{,}6}{n^2}$ se rapproche de zéro (par valeurs négatives) et le produit $a_0\, n^2$ augmente sans limite.

E_n tend vers 0 eV et r_n tend vers l'infini.

COMPRENDRE
L'énergie nulle correspond à un électron infiniment éloigné du proton : il n'est plus lié au noyau.

2.4 Quelle énergie minimale faut-il fournir à l'atome pour « libérer » l'électron du puits ?

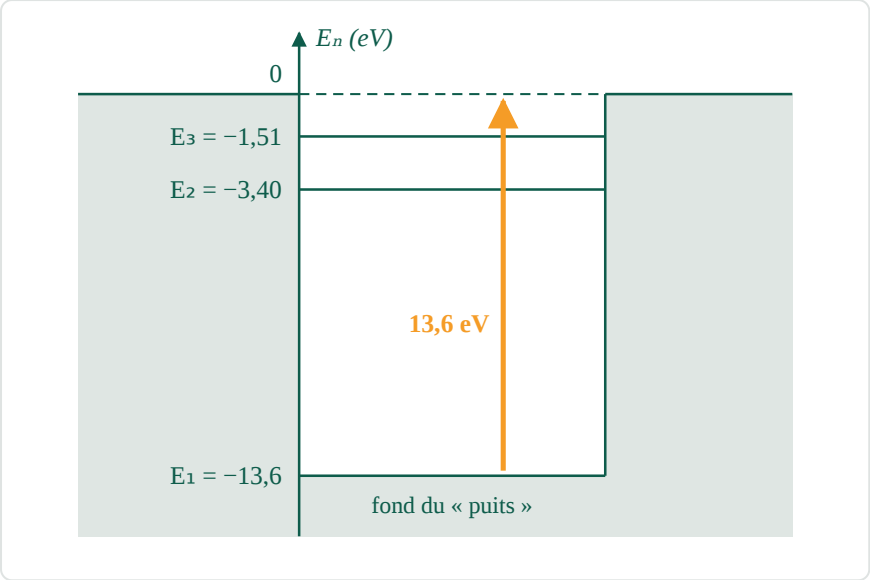
Données utiles $E_1 = -13{,}6$ eV (fond du puits)

L'électron est libéré lorsque l'énergie de l'atome atteint 0 eV. À partir de l'état fondamental :

$E_{\text{min}} = 0 - E_1 = 0 - (-13{,}6)$

$E_{\text{min}} = 13{,}6$ eV

PIÈGE
Répondre « $-13{,}6$ eV ». Une énergie à fournir est positive : c'est l'écart entre le niveau d'arrivée et le niveau de départ.



2.4 · Le « puits » de l'annexe : énergie à fournir depuis le niveau fondamental

2.5 Quelle modification subit l'atome d'hydrogène si l'électron est « libéré » du puits ?

L'atome d'hydrogène ne possède qu'un électron ; s'il le perd, il ne reste que le proton.

L'atome est ionisé : il devient l'ion H^+ (un cation).

COMPRENDRE
L'énergie de 13,6 eV trouvée à la question 2.4 est donc l'énergie d'ionisation de l'atome d'hydrogène.

2.6 L'atome, dans son état de plus basse énergie E_1, reçoit une énergie $\Delta E = 10{,}2$ eV. Dans quel état énergétique se retrouve-t-il ?

Données utiles $E_1 = -13{,}6$ eV ; $E_2 = -3{,}40$ eV

L'énergie de l'atome devient : $E = E_1 + \Delta E = -13{,}6 + 10{,}2 = -3{,}4$ eV.

Cette valeur est celle du niveau $n = 2$ du tableau.

L'atome se retrouve dans l'état d'énergie $E_2 = -3{,}40$ eV (premier état excité).

COMPRENDRE
L'énergie reçue correspond exactement à l'écart $E_2 - E_1$: c'est ce qui permet le passage d'un niveau à l'autre.

2.7 L'atome revient à son état de plus basse énergie en émettant un photon. Déterminer la fréquence de ce photon, puis sa longueur d'onde dans le vide.

Données utiles $\Delta E = 10{,}2$ eV ; $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}602 \times 10^{-19}$ J

Le photon emporte l'énergie perdue par l'atome : $\Delta E = E_2 - E_1 = 10{,}2$ eV, et $\Delta E = h\nu$ avec ΔE en joule.

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{10{,}2 \times 1{,}602 \times 10^{-19}}{6{,}62 \times 10^{-34}} = 2{,}47 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

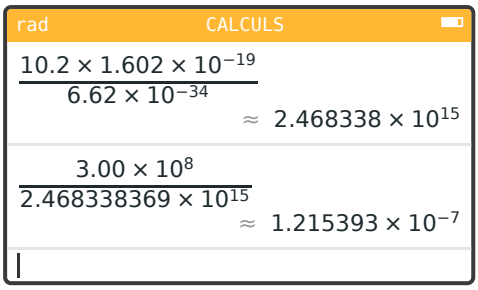
$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{2{,}468 \times 10^{15}} = 1{,}22 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$\nu = 2{,}47 \times 10^{15}$ Hz et $\lambda = 1{,}22 \times 10^{-7}$ m $= 122$ nm

PIÈGE
Laisser ΔE en électron-volt dans $\Delta E = h\nu$: la constante h est en J · s, l'énergie doit être en joule.

PIÈGE
Calculer λ avec la fréquence arrondie $2{,}47 \times 10^{15}$ Hz donne 121 nm. On reprend la valeur non arrondie.

À LA CALCULATRICE



2.8 À quel domaine spectral appartient la radiation émise ?

Données utiles $\lambda = 122$ nm (2.7)

Le domaine visible s'étend d'environ 400 nm à 800 nm dans le vide. Ici $\lambda = 122 \text{ nm} < 400 \text{ nm}$.

La radiation émise appartient au domaine ultraviolet.

MÉTHODE

Repères à connaître : ultraviolet en dessous de 400 nm, visible de 400 à 800 nm, infrarouge au-dessus de 800 nm.

Spécialité : Autour de l'oreille

Bac S 2010 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Donner la définition de la hauteur d'un son.

La hauteur d'un son est la sensation auditive qui permet de dire s'il est grave ou aigu. Elle est mesurée par la fréquence du fondamental du son, exprimée en hertz.

Hauteur d'un son : fréquence f_1 de son fondamental (son grave : f_1 faible ; son aigu : f_1 élevée).

COMPRENDRE
Hauteur, timbre et harmoniques relevaient de l'enseignement de spécialité du bac S. Ils ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale, qui conserve l'intensité sonore et le niveau en décibels.

1.2 Déterminer la hauteur du son de l'enregistrement 1.

Données utiles enregistrement 1 : maximums de la tension à $t = 0$ ms et à $t = 8{,}0$ ms, séparés par 4 périodes

La tension est périodique. Entre les maximums situés à $t = 0$ et $t = 8{,}0$ ms, on compte 4 périodes :

$4T = 8{,}0$ ms, donc $T = 2{,}0$ ms $= 2{,}0 \times 10^{-3}$ s.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}0 \times 10^{-3}}$$

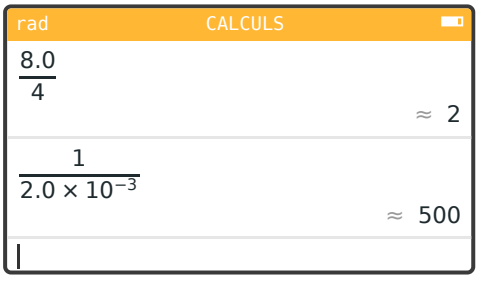
$f = 5{,}0 \times 10^{2}$ Hz : c'est la hauteur du son enregistré.

PIÈGE
Laisser T en millisecondes : $1 \div 2{,}0$ donne $0{,}50$, qui est une fréquence en kHz et non en Hz.

COMPRENDRE
La durée est lue avec deux chiffres significatifs (8,0 ms) : la fréquence est donnée avec deux chiffres, $5{,}0 \times 10^{2}$ Hz et non « 500 Hz ».

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes puis diviser : l'erreur de lecture sur le graphique est répartie sur 4 périodes au lieu d'une seule.

À LA CALCULATRICE



1.3 Quelle modification l'expérimentateur a-t-il effectuée pour obtenir l'enregistrement 2 ? Quel paramètre du son (hauteur, intensité, timbre) a varié ? Justifier.

Données utiles amplitude de la tension : 2 V (enregistrement 1), 5 V (enregistrement 2) ; $T = 2{,}0$ ms (Q1.2)

L'amplitude de la tension passe de 2 V à 5 V : l'expérimentateur a augmenté l'amplitude du signal délivré par le générateur.

La période reste égale à 2,0 ms : la fréquence, donc la hauteur, est inchangée. La courbe reste une sinusoïde : le timbre est inchangé.

Le paramètre qui a varié est l'**intensité** du son : elle a augmenté, car l'amplitude de la vibration est plus grande.

PIÈGE
Ne pas se fier à l'allure des courbes, presque identiques à l'œil : l'échelle verticale a changé. Il faut lire les graduations (2 V puis 5 V).

1.4 À l'aide de l'analyse spectrale, montrer que la hauteur du son de l'enregistrement 3 est identique à celle des enregistrements 1 et 2.

Données utiles spectre : 4 pics régulièrement espacés, le quatrième à 2000 Hz ; $f = 5{,}0 \times 10^2$ Hz (Q1.2)

La hauteur d'un son est la fréquence f_1 de son fondamental, c'est-à-dire celle du pic de plus basse fréquence du spectre.

Les pics suivants sont les harmoniques, de fréquences multiples de f_1 : $f_n = n\,f_1$. Les quatre pics sont régulièrement espacés et le quatrième est à $f_4 = 2000$ Hz :

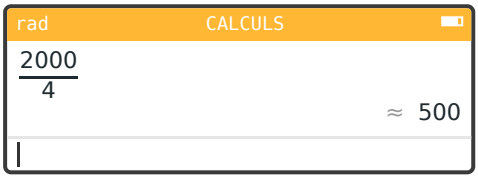
$$f_1 = \frac{f_4}{4} = \frac{2000}{4} = 500 \text{ Hz}$$

$f_1 = 500$ Hz : même hauteur que les sons 1 et 2 ($5{,}0 \times 10^2$ Hz).

PIÈGE
Prendre pour hauteur la seule fréquence graduée (2000 Hz) ou le pic le plus haut. La hauteur est toujours la fréquence du premier pic, même s'il n'est pas le plus grand.

COMPRENDRE
Vérification sur l'enregistrement 3 : le motif se répète toutes les 2 ms, comme pour les sons 1 et 2. Même période, donc même hauteur.

À LA CALCULATRICE



1.5 Quelle différence présente le son de l'enregistrement 3 par rapport aux enregistrements 1 et 2 ? Quel paramètre du son est ainsi mis en évidence ? Justifier.

Les tensions 1 et 2 sont sinusoïdales : ce sont des sons purs, dont le spectre ne contiendrait qu'un pic, à 500 Hz.

La tension 3 est périodique mais non sinusoïdale : c'est un son complexe, dont le spectre contient, en plus du fondamental, trois harmoniques (1000 Hz, 1500 Hz et 2000 Hz).

À hauteur égale, les sons diffèrent par leur composition en harmoniques : le paramètre mis en évidence est le **timbre**.

COMPRENDRE
Le timbre dépend du nombre d'harmoniques et de leurs amplitudes relatives. C'est lui qui permet de distinguer deux instruments jouant la même note.

2.1 Montrer, à partir de la définition du niveau sonore, que l'intensité du son de niveau $L = 50$ dB vaut $I = 1{,}0 \times 10^{-7}$ W · m^{-2}.

Données utiles $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2} ; $L = 50$ dB

$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ donne $\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{L}{10}$, soit $\frac{I}{I_0} = 10^{L/10}$.

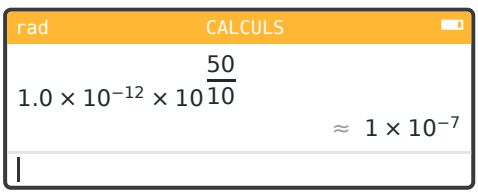
$$I = I_0 \times 10^{L/10} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{50/10} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^5$$

$I = 1{,}0 \times 10^{-7}$ W · m^{-2} : c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Le sujet écrit « le niveau sonore I » : c'est une coquille. Le niveau sonore est L, en décibels ; I est l'intensité sonore, en W · m^{-2}.

MÉTHODE
Pour retirer un logarithme décimal : si $\log x = a$, alors $x = 10^a$. Diviser d'abord par 10, puis passer à la puissance de dix.

À LA CALCULATRICE



2.2 Deux sources identiques donnent une intensité $I_2 = 2I_1$. Montrer, à partir de la définition du niveau sonore, que $L_2 = L_1 + 3$ dB.

Données utiles $L_1 = 10\log\left(\frac{I_1}{I_0}\right)$; $I_2 = 2\,I_1$

$$L_2 = 10\log\left(\frac{I_2}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{2\,I_1}{I_0}\right)$$

Comme $\log(a \times b) = \log a + \log b$:

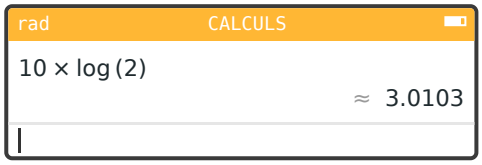
$$L_2 = 10\log 2 + 10\log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) = 10\log 2 + L_1$$

Or $10\log 2 = 3{,}0$, donc :

$L_2 = L_1 + 3$ dB : la relation attendue.

PIÈGE
Doubler l'intensité ne double pas le niveau sonore : ce sont les intensités qui s'ajoutent, pas les décibels. Deux sources de 50 dB donnent 53 dB, pas 100 dB.

À LA CALCULATRICE



2.3.1 Le domaine audible s'étend d'environ 20 Hz à 20 kHz. Où se situent les sons aigus ? Et les sons graves ?

Un son est d'autant plus aigu que sa fréquence est élevée, d'autant plus grave qu'elle est faible.

Sons aigus : fréquences élevées, à droite du diagramme (vers 20 kHz). Sons graves : fréquences faibles, à gauche du diagramme (vers 20 Hz).

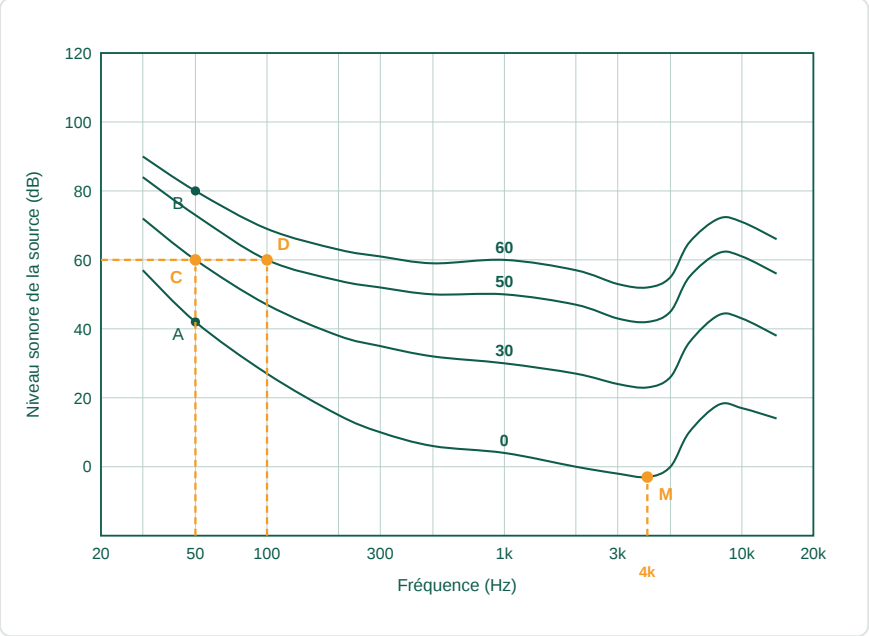
2.3.2 Sur le diagramme de l'annexe, placer le point de la courbe de niveau 0 qui justifie que la sensibilité maximale de l'oreille se situe autour de 4000 Hz.

La courbe de niveau 0 donne, pour chaque fréquence, le niveau sonore minimal qu'une source doit avoir pour être entendue. L'oreille est la plus sensible à la fréquence pour laquelle ce niveau est le plus faible.

On place donc le point M au minimum de la courbe de niveau 0. Son abscisse, entre les graduations 3k et 10k, est voisine de 4000 Hz.

M est le point le plus bas de la courbe « minimum audible » : il se situe vers 4000 Hz.

PIÈGE
L'axe des fréquences est logarithmique : 4000 Hz n'est pas à mi-distance de 3k et 10k, mais nettement plus près de 3k.



2.3.2 · Annexe complétée (schéma simplifié : seules les courbes d'isotonie 0, 30, 50 et 60 dB sont reproduites)

2.3.3 Deux sons ont le même niveau sonore, 60 dB, l'un à 50 Hz, l'autre à 100 Hz. Déterminer, avec un tracé sur l'annexe, le niveau sonore perçu par l'oreille pour chacun.

Données utiles exemple du sujet : le point B (50 Hz ; 80 dB) est sur la courbe d'isotonie 60, le son est perçu à 60 dB

On place les points d'ordonnée 60 dB (niveau de la source) : C à l'abscisse 50 Hz, D à l'abscisse 100 Hz (voir l'annexe complétée, question 2.3.2). Le niveau perçu est celui de la courbe d'isotonie qui passe par le point.

Le point C est sur la courbe d'isotonie 30. Le point D est sur la courbe d'isotonie 50.

Son de 50 Hz : perçu à environ 30 dB. Son de 100 Hz : perçu à environ 50 dB.

PIÈGE
Le niveau perçu ne se lit pas sur l'axe vertical, qui donne le niveau de la source : il se lit sur le numéro de la courbe passant par le point.

MÉTHODE
Si un point tombe entre deux courbes, on estime le niveau perçu entre les deux numéros voisins, d'après les distances à chacune.

2.3.4 Parmi ces deux sons, lequel sera perçu avec le plus d'intensité par l'oreille ?

Données utiles niveaux perçus : 30 dB à 50 Hz et 50 dB à 100 Hz (Q2.3.3)

Le niveau sonore est une fonction croissante de l'intensité : le son perçu avec le niveau le plus élevé est perçu avec le plus d'intensité.
Or $50\ \text{dB} > 30\ \text{dB}$.

Le son de fréquence 100 Hz est perçu avec le plus d'intensité, bien que les deux sources aient le même niveau de 60 dB.

COMPRENDRE
Un écart de 20 dB correspond à un rapport $10^{20/10} = 100$ entre les intensités. L'oreille est peu sensible aux sons très graves.

À LA CALCULATRICE

